

演習問題の解答例

2 章

$$2.1 \quad \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{400 \text{ nm}} = \frac{2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{400 \times 10^{-9} \text{ m}} = 7.5 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{400 \text{ nm}} = \frac{1}{400 \times 10^{-7} \text{ cm}} = 2.5 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$$

$$E = \frac{hc}{e\lambda} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}) \times (2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1})}{(1.602 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (400 \text{ nm})} = 3.1 \text{ eV}$$

2.2 X線, 紫外線, 可視光線, 赤外線, マイクロ波, ラジオ波

$$2.3 \quad A = -\log_{10} \frac{I}{I_0}, \quad 0.62 = -\log_{10} \frac{I}{I_0} \text{ より,}$$

$$T \% = \frac{I}{I_0} \times 100 = 10^{-0.62} \times 100 = 24 \%$$

2.4 電子エネルギー, 振動エネルギー, 回転エネルギー

3 章

$$3.1 \quad A = -\log_{10} \frac{I}{I_0}, \quad 0.79 = -\log_{10} \frac{I}{I_0} \text{ より, } T = \frac{I}{I_0} = 10^{-0.79} = 0.162$$

よって, 吸収された割合は, $(1 - 0.162) \times 100 = 83.8 \%$

$$3.2 \quad A = -\log_{10} \frac{I}{I_0} = \epsilon l C \text{ より, } 0.62 = \epsilon \times 1 \times 0.15 \times 10^{-3}. \text{ よって,}$$

$$\epsilon = 4.13 \times 10^3 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

$$3.3 \quad A = -\log_{10} \frac{I}{I_0} = \epsilon l C \text{ より, } 0.80 = \epsilon \times 1 \times \frac{8.96 \times 10^{-3}}{107.4}. \text{ よって,}$$

$$\epsilon = 9.59 \times 10^3 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

$$3.4 \quad A = -\log_{10} \frac{I}{I_0} = \epsilon l C \text{ より, } 0.77 = 1.1 \times 10^4 \times 1 \times C. \text{ よって,}$$

$$C = 7.0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$$

4 章

4.1 発光原理：中空陰極ランプは，測定元素と同種の単金属または合金でできた円筒型の中空陰極とタングステンの陽極からなり，低圧のArまたはNeが封入されている．中空陰極ランプの放電領域は正規グロー放電領域である．封入ガスがイオン化され，そのイオンが陰極に衝突するとスパッタリングにより陰極金属元素をたたき出し，その金属元素が励起されて原子発光線を放射する．

特徴：中空陰極ランプからの発光線は強度が大きい．電極温度が比較的低い（300～600℃）ので，ドップラー広がりも小さく，スペクトル線幅が狭い．このような光源が実現したことにより，原子吸光分析法が確立されたといえる．

4.2 試料溶液から中性原子が生成する過程は，次の通りである．

1) 溶媒の蒸発 → 2) 塩粒子から結晶水などの脱水 → 3) 残留粒子・反応生成物の蒸発 → 4) 分析対象元素の化合物の分解 → 5) 分子の解離 → 原子化

なお，原子化後，励起とイオン化も起こる．

4.3 原子吸光分析法は，フレーム中や電気加熱炉などで生成した基底状態の原子蒸気層に光を当て，その吸収の度合いを測定して，濃度を求める．積分吸収は基底状態の原子数に比例するので，原子化部の原子濃度を C とすると，吸光度 A は次のようになる．

$$A = -\log T = \log \frac{I_0}{I} \propto aC$$

ここで， I_0 は光源の光強度（入射光強度）， I は吸光後の光強度（透過光強度）， T は透過率， a は元素に固有の比例定数である．原子化部の原子濃度 C と試料濃度とは比例関係にあるため，試料濃度と吸光度には比例関係が存在する．

- 4.4 回折格子は分光器の分解能を決めるのに重要である。回折格子は、ガラス板などにノコギリ状の溝が刻まれたものである。回折格子の刻線数が多いものほど分散度は大きく、分光器の焦点距離の長いものほど分散度は大きい。分解能は分散度とスリット幅で決まり、格子面積の小さな回折格子でも幅の狭いスリット幅を使用することにより高い分解能が得られる。
- 4.5 電気加熱原子吸光分析法は、フレーム原子吸光分析法とは異なり、導入された試料がほとんど損失することなく原子化されることに加え、狭い黒鉛炉内に原子蒸気が閉じ込められることで、原子密度が大きな原子蒸気中を光が通過するため。

5 章

- 5.1 メリット：自己吸収や分子バンドの影響を受けにくいいため、バックグラウンドが下がり、感度が向上する。
デメリット：高マトリックス試料を測定する際にイオン化干渉による影響を受けやすい。
- 5.2
- ・分光干渉を受けにくい発光線を選択する。
 - ・干渉補正係数法により、干渉補正を行う。
 - ・マトリックスマッチングを行う。
- 5.3 ICPのドーナツ構造のため、ミストとして導入される試料溶液が拡散することなくプラズマ中心部に効率よく運ばれ、脱溶媒、原子化、励起あるいはイオン化されるため。
- 5.4 溶媒の水や硝酸に由来するO, H, NやプラズマガスであるArなどが組み合わさり、多原子イオンが生成されるため（表5.3参照）。

6 章

6.1
$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{(10 \mu\text{m})} = \frac{1}{(10^{-3} \text{cm})} = 1.0 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{10 \mu\text{m}} = \frac{2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{10^{-5} \text{ m}} = 2.998 \times 10^{13} \text{ s}^{-1} = 30 \text{ THz}$$

$$E = \frac{hc}{e\lambda} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}) \times (2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1})}{(1.602 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (10^{-5} \text{ m})} = 0.12 \text{ eV}$$

$$6.2 \quad \tilde{\nu}_R = \frac{1}{\lambda_0} \times 10^7 - \frac{1}{\lambda} \times 10^7 \text{ より, } \lambda = \frac{10^7}{\frac{10^7}{\lambda_0} - \tilde{\nu}_R}$$

$$\lambda_0 = 200 \text{ nm のとき, } \lambda = \frac{10^7}{\frac{10^7}{200} - 1000} \text{ nm} = 204 \text{ nm}$$

$$\lambda_0 = 500 \text{ nm のとき, } \lambda = \frac{10^7}{\frac{10^7}{500} - 1000} \text{ nm} = 526 \text{ nm}$$

$$\lambda_0 = 800 \text{ nm のとき, } \lambda = \frac{10^7}{\frac{10^7}{800} - 1000} \text{ nm} = 870 \text{ nm}$$

6.3 赤外吸収分光も紫外・可視吸収分光も、1光子過程である光吸収のエネルギー分散を測定する点で同じである。装置構成として、主に、光源、分光器、試料部、検出器からなる点で同じである。しかし原理において、赤外吸収は主に振動遷移を、紫外・可視吸収は主に電子遷移を観測する点で異なる。

装置においては、赤外領域および紫外・可視領域において、それぞれ最適な構成要素が選ばれる。光源として、赤外分光ではセラミック光源が、紫外・可視分光では重水素放電管とハロゲンランプが主に用いられる。分光器として、赤外分光では干渉計が、紫外・可視分光では回折格子が主に用いられる。検出器として、赤外分光ではTGSやMCTが、紫外・可視分光では光電子増倍管やCCDが主に用いられる。

得られる分子情報としては、赤外分光では各官能基に関する情報が、紫外・可視分光では分子全体の電子状態に関する情報が、それぞれ得られる。

6.4 ラマン散乱は2光子過程であるのに対し、蛍光発光は吸収と発光の2つの1光子過程である。しかし装置構成としては、励起光として単色光を準備し、発光光を分光して検出するシステムがあればよい点で類似している。

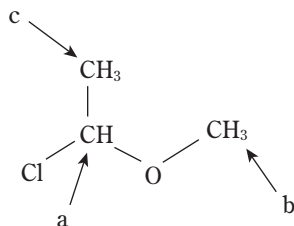
ラマン散乱分光装置では通常、光源としてコヒーレンスのよいレーザーが用いられ、蛍光分光装置では通常、波長選択が可能なキセノンランプと分光器の組み合わせが用いられる。最近では、共焦点顕微鏡と組み合わせたり、時間分解測定を行うために、レーザーを光源とした蛍光分光装置も発売されている。ラマン散乱分光においても蛍光発光分光においても、検出器には測定波長範囲で感度の良いものが選ばれ、一般的には光電子増倍管やCCDが用いられる。

励起波長は、蛍光分光において、光吸収帯と重ならなければならないが、ラマン散乱分光ではどのような波長を用いてもよい。ラマン散乱分光において、励起波長が分子の光吸収帯と重なる場合、共鳴ラマン効果が期待される。しかし、生体分子のように強い蛍光を発する場合、ラマン散乱が蛍光発光と重なってしまい、ラマンスペクトルを測定できなくなる場合もある。そのときには励起波長をずらしてラマン散乱分光をすることもある。ラマン散乱スペクトルは振動スペクトルの1つであり、ラマン散乱と赤外吸収は選択率が異なるため、赤外スペクトルと相補的な分子情報が得られる。例えば、等核二原子分子である窒素 N_2 はラマン活性であるが赤外不活性である。蛍光発光は吸収と発光の間に時間差があるため、時間分解測定により、分子の動的な性質を知ることできる。

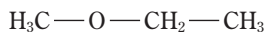
7章

7.1 ケイ素Siの電気陰性度が炭素Cよりも低いため、Si-C間ではC側に電子密度の偏りが生じ、Cに結合した 1H 周辺の電子密度も高くなる。これによって 1H は強い遮蔽を受けるため、 1H NMRシグナルは高磁場側にシフトする。

7.2 下図の通りである.



7.3 エチルメチルエーテル



8 章

8.1 既知あるいは新規の物質を合成した場合に、本当に目的の物質が得られたか（同定）、またもし不純物が含まれているとしたら、それがどのような物質であるかを確認すること（定性分析）、は常に重要である。結晶性物質では、ほとんどの場合に数本の粉末回折ピークの位置と強度比が一致すれば、同じ物質とみなすことができる。このように粉末X線回折法は、物質を同定するための手段として簡便で確実性の高い優れた手法であるといえる。

8.2 ブラッグの条件 $2d \sin \theta = n\lambda$ より、

$$d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1 \times 0.154 \text{ nm}}{2 \sin 30^\circ} = 0.154 \text{ nm}$$

8.3 **定性分析**：発生した蛍光X線のエネルギー（波長）からピークの帰属を行う。最も強いピークを同定し、それに付随するピークを決定する。例えば鉄の $K\alpha$ 線（6.400 keV）があれば、必ず $K\beta$ 線（7.058 keV）も検出されているはずである。

ただし、EDSではエネルギー分解能がそれほど高くないため、ピークの重なる場合がある。例えば鉄の $K\beta$ 線（7.058 keV）とコバルトの $K\alpha$ 線（6.925 keV）などは、ピークの分離が困難である。また、エスケープピークやサムピークなど、EDSでは特殊なピークが発生することがあるため、帰属する際には注意が必要である。

一方、WDSではエネルギー分解能が高いため、ピークの重なりは問題にならないことが多い。隣接した強い線のそばの弱い線を分離して測定するのに、WDSは向いている。

定量分析：蛍光X線分析は試料の形態を問わず測定できるが、定量する際には、必要な精度を考慮しながら、装置、試料調製法、測定時間などの条件を設定する必要がある。

【装置】WDSは品質管理のような高精度な定量分析に用いられており、EDSは定量精度が多少悪くても多品種の分析を短時間に行う場合に利用されている。

【試料調製法】X線の減衰距離に比べて大きい粒径の粒子があると、X線強度に粒径依存性が出てくる。よって、高精度で測定する場合には、試料形状をそろえるために、粉碎・乾燥・プレス成形したり、融剤と混合してガラス化したりする場合がある。

【測定時間】X線の強度（時間あたりのカウント数）はガウス分布に従うので、計数時間を長くすれば、相対誤差は小さくなり、精度は高くなる。ただし、 n 倍長く測定しても相対誤差は $1/\sqrt{n}$ までしか小さくならない。

【定量の方法】検量線法で定量する場合には、目的物質と似たマトリックスの検量線用試料を用いて検量線を作成する。ただし、濃い試料になるとマトリックス効果が顕著になるので、注意が必要である。

FP法で定量する場合には、マトリックス効果を補正でき、理論的には標準試料は不要である。しかし軽元素の場合、蛍光X線のピークが検出されないこともあるので、目的試料に組成の似た標準物質を測定して得た経験的なパラメータを使って計算するほうがよい。

9章

9.1 3.

9.2 2.

9.3 $1486.6 - 722.0 = 764.6 \text{ eV}$

(Al $K\alpha$ 線のエネルギーについては、125ページ参照)

10章

10.1 回折コントラスト:薄い試料の場合、電子線の吸収はほとんどないので、後焦点面に絞りを挿入して透過波または回折波の一部を阻止して見かけの吸収を作り、試料コントラストを得る。透過波を使った結像法を明視野法、回折波を使った結像法を暗視野法と呼ぶ。

位相コントラスト:透過波、回折波の干渉による結像法。結晶の投影ポテンシャルに対応する像（結晶格子像）が得られるが、試料の厚さや結像レンズの収差、焦点はずれ量などの影響を受けるため、結晶中の原子列に一致した投影が常に得られるわけではない。

10.2 二次電子のエネルギーは数10 eV以下と低く、検出は試料のごく表面で発生したものに限られる。二次電子の放出量は試料の表面形状に敏感で、粒子形状や表面構造などの観察に適している。二次電子は表面電位に影響されやすく、試料帯電の影響によって異常な像コントラストが現れることがある一方、逆に電位を反映した像を得ることもできる。

反射電子は比較的高いエネルギーをもつため、二次電子に比べ試料深部からの情報を含む。反射電子像は試料の組成を反映した画像が得られる。反射電子の量は表面形状には左右されないが、放出方向に角度分布があることを利用して表面凹凸の観察も可能である。

10.3

名称 (和名) (英名)	略号	利用する信号	水平分解能 [nm]
走査型トンネル顕微鏡 scanning tunneling microscope	STM	トンネル電流	0.2
原子間力顕微鏡 atomic force microscope	AFM	分子間力	0.2
摩擦顕微鏡 friction force microscope	FFM	摩擦力	0.2
磁気力顕微鏡 magnetic force microscope	MFM	磁気力	10
走査型電位顕微鏡 scanning potential microscope	SPoM	電位	10
走査型キャパシタンス顕微鏡 scanning capacitance microscope	SCaM	キャパシタンス	2
走査型近接場光顕微鏡 scanning near-field optical microscope	SNOM (NSOM)	エバネッセント光	10
走査型感熱顕微鏡 scanning thermal microscope	SThM	熱	10
走査型イオン伝導顕微鏡 scanning ion-conductance microscope	SICM	イオン伝導	50
走査型マイクロ波顕微鏡 scanning microwave microscope	SMM	インピーダンス	2

12章

12.1 $W_A = W_B$ であるので、式(11.15)は次のように表される。

$$R = \frac{t_{R,B} - t_{R,A}}{W_B}$$

式(11.10)を代入して、上式の W_B を消去すると次式が得られる。

$$R = \frac{N^2}{4} \frac{t_{R,B} - t_{R,A}}{t_{R,B}}$$

さらに、式(11.9)を代入して、上式の $t_{R,A}$ と $t_{R,B}$ を消去すると次式が得られる。

$$R = \frac{N^{\frac{1}{2}}}{4} \frac{k_B - k_A}{1 + k_B}$$

最後に、式(11.14)を代入して、上式の k_A を消去して整理すると式(11.16)が導出できる。

$$R = \frac{N^{\frac{1}{2}}}{4} \frac{\alpha - 1}{\alpha} \frac{k_B}{1 + k_B}$$

12.2 以下の3つの理由が挙げられる。

- 流路が単一であること。
- カラム内径や固定相膜厚を小さくできること。
- カラムを長く設計できること。

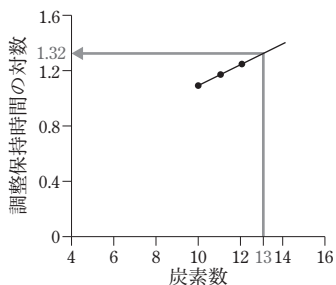
12.3 1. $t_R' = t_R - t_M = 26.50 - 1.20 = 25.30$ 分

2. $k = \frac{t_R - t_M}{t_M} = \frac{26.50 - 1.20}{1.20} = 21.1$

3. $N = 16 \left(\frac{t_R}{W_A} \right)^2 = 16 \left(\frac{26.50}{0.300} \right)^2 = 12.5 \times 10^4$

4. $HETP = \frac{L}{N} = \frac{30.0}{12.5 \times 10^4} = 0.240$ mm

12.4 脂肪酸メチル標準物質の炭素数と調整保持時間の対数をプロットすると、以下のような直線関係が得られる。このグラフに炭素数13を内挿すると、調整保持時間の対数として1.32が得られ、調整保持時間は20.9分であることがわかる。



13章

13.1 蛍光検出器：紫外・可視領域の光（励起光）を照射したときに発生する蛍光を検出する。励起波長と検出波長の2つを選択でき、一般的にUV-VISと比較して3桁ほど高感度である。

電気伝導度検出器：溶液中に含まれるイオン性成分の濃度によって電気伝導度が増加することを利用する。イオンクロマトグラフィーにおいて多用される。

13.2 長鎖のアルキル基など低極性の分子をシリカゲルなどの担体に化学的に結合させたものを固定相として用い、水、メタノール、アセトニトリルなどの極性の高い親水性溶媒を移動相として使用する。このように固定相の方が相対的に極性が低い分離系を逆相と呼ぶ。一般的に逆相モードの分離は疎水性相互作用に基づくと考えてよく、疎水性の大きな成分ほど固定相への保持が強い。

13.3 溶解液組成を電気伝導度の小さい組成に変換し、バックグラウンドを下げることにより、試料中の目的イオン成分を高感度に検出する。

14章

14.1 $v_{ep} = \mu_{ep} E$ より、

$$\mu_{ep} = \frac{v_{ep}}{E} = \frac{80 \text{ cm}}{500 \text{ s}} \frac{100 \text{ cm}}{20 \text{ kV}} = \frac{(80 \text{ cm}) \times (100 \text{ cm})}{(500 \text{ s}) \times (20 \times 10^3 \text{ V})} = 8.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ V}^{-1}$$

14.2 陰イオンC、中性物質B、陽イオンAの順序。ただし、陽イオンの電気泳動速度が電気浸透流速度より大きい場合は、陽イオンAは検出されない。

14.3 プロピルベンゼン、エチルベンゼン、トルエン

15章

$$15.1 \quad \text{Re} = \frac{U\rho}{\mu} = \frac{(100 \mu\text{m s}^{-1}) \times (100 \mu\text{m}) \times (1.00 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3})}{0.894 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}} = 0.0112$$

15.2 利点：拡散距離の短縮，熱伝導速度向上による高速反応。

欠点：大量合成や発酵などの長時間培養が難しい。

16章

16.1 EIはフラグメントイオンのパターンに基づいて分子種の推定に有効である(ライブラリサーチによって分子種を同定することができる)。一方，分子量の推定には，フラグメント化が起こりにくいCIを用いる。

16.2 測定対象物質の極性の違いによって使い分ける。低極性化合物のイオン化にはAPPI，低～中極性化合物のイオン化にはAPCI，高極性化合物のイオン化にはESIが適している。また，高分子量化合物を質量分析する場合は，多価イオンを生成させて低 m/z 値で質量分析できるESIが有効となることもある。

16.3 ESIは溶液試料のイオン化を行う方法であり，LC/MSのイオン化法として汎用されており，定量分析にも用いられる。また，溶液中でしか安定に存在できない複合体の測定も可能である。ESIでは，多価イオンが生じやすいので，混合物の測定が不得手である。MALDIでは，1価のイオンが生成しやすいため合成ポリマーやタンパク質/ペプチドなどの混合物の質量分析に適している。また，ESIが苦手とする低極性化合物のイオン化や，ESIで使用できない溶媒や塩を用いた試料調製も可能である。クロマトグラフィーとの組み合わせが不要であるため，ハイスループット測定に適しているが，定量分析には適していない。実際の測定では，ESIとMALDIは相補的に利用されている。

16.4 式(16.6)および式(16.7)を用いて，以下のように計算する。

$$v = \sqrt{\frac{2zeV_0}{m_i}} = \sqrt{\frac{2 \times 1 \times (1.60 \times 10^{-19}) \times 20000}{(1.66 \times 10^{-27}) \times (12 \times 60)}} = 73.2 \times 10^3 \text{ m s}^{-1} = 73.2 \text{ km s}^{-1}$$

$$t = \frac{L}{v} = \frac{2 \text{ m}}{73.2 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}} = 27.3 \times 10^{-6} \text{ s} = 27.3 \mu\text{s}$$

この計算で用いる質量 m_i はSI単位であるキログラム (kg) で表される値であることに注意する。化学の分野で用いられる質量は、静止した基底状態にある ^{12}C の原子 1 個の質量の $1/12$ (およそ $1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$) に対する相対値であり、非SI単位系の統一原子質量単位 (unified atomic mass unit, 単位 u または Da) が用いられる。 ^{12}C が 60 個結合したフラレンのモノアイソトープ質量は 720 Da であり、SI単位系の質量 m_i は $(1.66 \times 10^{-27}) \times (12 \times 60)$ (kg) である。

このようにして求めたイオンの飛行速度 (73.2 km s^{-1}) は、ライフル銃の弾丸 (約 1 km s^{-1}) やロケットが地球の重力圏を離脱する速度 (約 12 km s^{-1}) よりもはるかに高速である。なお、一般的なMALDI-TOFMS装置は、3 ns ($1 \text{ ns} = 1 \times 10^{-9} \text{ s}$) の間隔でレーザー光を照射してイオンを発生させ、検出器において0.5~2 ns間隔でイオン検出・信号増幅・A/D変換・記録を行っている。MALDI-TOFMS装置の内部では驚異的な時間精度でさまざまな処理が行われている。

17章

17.1 電位を印加した場合、酸化体と還元体の濃度比は、印加電位によって決まる。酸化体と還元体の濃度比を変化させた場合、系の電位は酸化体と還元体の濃度比によって決まる。



17.3 $E(\text{vs. Ag/AgCl}) + 0.196 = E(\text{vs. SHE})$
(飽和KCl溶液を用いた銀塩化銀電極の場合)

18章

18.1 連続流れ分析 (continuous flow analysis, CFA)

フローインジェクション分析 (flow injection analysis, FIA)

シーケンシャルインジェクション分析 (sequential injection analysis,

SIA)

$$18.2 \quad D = \frac{C^\circ}{C^{\max}} = \frac{H^\circ}{H}$$

反応コイルを構成するコイルの内径を太くする、あるいは長さを長くすれば、サンプルがより分散（ D 大）するので、オンライン希釈が起き、濃度が薄まり、検量線の濃度範囲に収まる。

18.3 加熱，冷却，ガス拡散，イオン交換，紫外線照射など

19章

19.1 試料と基準物質の温度を一定のプログラムに従って変化させながら，試料と基準物質の温度差を測定するのがDTAであり，得られるDTA曲線の再現性と，DTAピークの面積から熱量が求められるよう工夫された装置がDSCである。融解や結晶化，熱変性などは吸発熱ピークとして，ガラス転移はベースラインのシフトとして得られる。

19.2 ・同時測定が可能であれば，TGからの発生ガスをIRや質量分析に導入して，測定する。

・DTAと同時測定ができれば，質量減が吸熱か発熱かを調べる。

・アルゴンや窒素などの雰囲気中で測定し，質量減が酸化分解かどうか調べる。

19.3 DSC：相転移の温度と熱量や反応の生じる温度と反応熱量がわかる。

TG：酸化還元や蒸発・揮発・気化などの質量の変化を伴った変化，吸脱着による質量変化，熱分解温度，熱分解残渣^{ざんさ}がわかる。またゴムなどでは空気中と窒素やアルゴン中での測定結果から高分子成分とカーボンブラック，添加剤などの組成がわかる。

TMA：測定温度範囲での熱膨張係数，膨張係数の変化する温度からガラス転移温度，変位の変化から軟化温度などがわかる。